

0- 792959

На правах рукописи

*Камбулов*

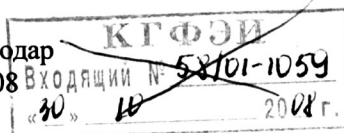
**КАМБУЛОВ СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ**

**МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРЕГАТОВ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Краснодар  
2008



Работа выполнена в Государственном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства» (ВНИПТИМЭСХ).

*Научный консультант* — доктор технических наук  
старший научный сотрудник  
Рыков Виктор Борисович

*Официальные оппоненты:* доктор технических наук  
профессор Бершицкий Юрий Иосифович,  
доктор технических наук  
профессор Грошев Леонид Матвеевич,  
доктор технических наук  
профессор Лобачевский Яков Петрович

*Ведущая организация* - Государственное научное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и  
защиты почв от эрозии»  
(ВНИИЗиЗПЭ) РАСХН г. Курск

Защита состоится «26» ноября 2008 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 220.038.08 при ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет» по адресу: 350044 г. Краснодар, ул. Калинина, 13, корпус факультета электрификации, ауд. № 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КубГАУ.

Автореферат разослан «22» октября 2008 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук  
профессор



НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000712659

Оськин С.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Интенсификация производства продовольствия является одним из аспектов национальной безопасности, приоритетной государственной проблемой, требующей первоочередного решения. Основным компонентом продовольственного комплекса страны является сельскохозяйственное производство, которое в связи с этим можно отнести к стратегической отрасли народного хозяйства.

Наиболее перспективным направлением стабильного развития сельского хозяйства становится внедрение передовых технологий и обеспечивающих их технических средств.

В свою очередь осваиваемые инновационные технологии должны основываться на щадящих адаптивно-ландшафтных системах земледелия, способствующих повышению плодородия почв при минимальных затратах труда и энергии. При этом они должны обеспечивать оптимальную плотность сложения пахотного слоя при уменьшении числа проходов агрегатов по полю, так как плотность сложения почвы является важнейшим фактором её плодородия, одним из главных показателей качества обработки, влияющей на рост и развитие растений и определяющей условия жизнеобеспечения их питательными веществами и влагой.

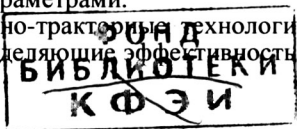
Машинное производство сельскохозяйственной продукции должно обеспечить эти требования технологий и в то же время оно объединяет значительные технические и трудовые ресурсы. Для повышения эффективности их взаимодействия и в соответствии с тенденциями научно-технического прогресса в области механизации необходимо постоянно повышать уровень функционирования технических средств, чтобы обеспечить оптимальные технологические, энергетические, экологические, технико-экономические и другие показатели их работы. В такой постановке получить оптимальные параметры агрегатов можно только с учётом всего многообразия факторов, определяющих уровень их функционирования.

Это, в свою очередь, требует постановки и решения задач оптимизации применительно к сельскохозяйственным агрегатам как многомерным динамическим системам с вероятностными входными и выходными переменными. Решение таких задач требует разработки соответствующей методологии, моделирования и применения вычислительной техники. Это определяет актуальность настоящих исследований в направлении разработки основных принципов теории создания параметрических рядов и эффективного функционирования новых мобильных энергетических средств (МЭС), рабочих органов машины и агрегатов, их оптимальных параметров и компоновочных схем.

Основой исследований являются разработанные Российской академией сельскохозяйственных наук концепции развития мобильной энергетики, почвообрабатывающих и посевных машин, машиноиспользования, а также «Стратегия машинно-технологического обеспечения производства сельскохозяйственной продукции России на период до 2010 года», утверждённая специальной сессией РАСХН в 2003 году.

**Целью работы является** повышение эффективности функционирования машинно-тракторных агрегатов путём механико-технологического обоснования структуры технических средств с рациональными параметрами.

**Объектами исследований** являлись машинно-тракторные технологические агрегаты, процессы и группы показателей, определяющие эффективность их функционирования.



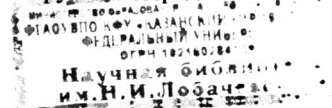
**Предметом исследований** являлись системные закономерности взаимодействия технических средств сельскохозяйственного назначения с внешней средой и перерабатываемым материалом в процессе нормального функционирования при производстве сельскохозяйственной продукции.

**Задачи исследований:**

- установить динамику технологической эффективности сельскохозяйственных МТА;
- провести обоснование энергетических параметров МТА, определяющих уровень функционирования агрегатов;
- разработать механизм адаптации сельскохозяйственных агрегатов к условиям внешней среды и выработать требования к эффективному математическому описанию и изучению их движения, обеспечивающему наилучшие технологические, экологические, энергетические и другие показатели уровня функционирования;
- изучить различные формы влияния внешних воздействий на агрегаты и установить их выходные показатели, что является основой определения оптимальных параметров их систем;
- определить влияние элементов технической эксплуатации на эффективность функционирования МТА;
- провести анализ распределения энергетических затрат при взаимодействии рабочих органов с обрабатываемой средой и определить наилучшие их формы, отвечающие требованиям энергосбережения;
- установить экономическую эффективность разработанных мероприятий и рекомендации по их использованию.

**Научную новизну представляют:**

- механико-технологическое обоснование эффективности функционирования новых МЭС, рабочих органов машин и агрегатов, их рациональные параметры и компоновочные схемы, обобщённые показатели внешней среды в виде коэффициентов корреляционных функций основных фонов, характерных для работы МТА, что даёт возможность использовать их при оптимизации работы почвообрабатывающих агрегатов в качестве входных переменных динамической системы;
- структура и параметры сельскохозяйственных МТА, параметрический ряд которых за счёт динамичности показателя ряда обеспечивает минимум недоиспользованной мощности;
- математическая модель определения критических границ области существования параметров сеялки, представленная системой уравнений, разрешённых относительно дисперсии на выходе системы, которая становится связанной с параметрами этой системы и, следовательно, минимум дисперсии определяет эти границы;
- параметры семяпроводов, определяемых такой экстремалью Эйлера с помощью методов вариационного исчисления, которая обеспечивает форму семяпровода с наименьшим временем нахождения в нём высеваемого материала для снижения степени неравномерности высева;
- параметры наиболее массового элемента рабочих органов – стойки на основе анализа энергоёмкости различных форм поперечного сечения последней по кинетической энергии (абсолютная скорость) отбрасываемого пласта;
- алгоритм определения тягово-энергетических показателей МЭС с различными типами трансмиссий, учитывающий характер протекания процессов с введением аппроксимаций, соответствующих каждому режиму нагрузки и определения их экс-





плуатационно-технологических показателей, математическая модель которых учитывает степень вероятности на каждом режиме работы агрегата;

- способ повышения работоспособности МТА за счёт стабилизации свойств эксплуатационных материалов, что снижает силы трения сопряжённых узлов.

***Практическая значимость:***

- определён параметрический ряд энергетических средств, включающий семь типоразмеров, и установлены параметры агрегатов этих типоразмеров на основных видах работ по обработке почвы, что необходимо при проектировании новых энергомашин и технологических МТА;

- разработаны рекомендации по формированию МТП сельскохозяйственных предприятий в зависимости от производственных условий и структуры энергетических средств на основе математической модели в виде полинома второй степени, которая связывает указанные факторы с критерием оптимизации;

- установлены методические принципы анализа кинематики почвы при взаимодействии её со стойкой рабочего органа как основы проектирования, обеспечивающей снижение энергоёмкости и повышение агротехники машин за счёт малых скоростей смещения пласта;

- предложена методика инженерного расчёта параметров высевальных систем, позволяющих определить форму семяпроводов и параметров подвески сошниковых групп, что обеспечивает снижение неравномерности высева семян по площади питания и глубине заделки;

- разработан метод корректного определения тяговых показателей тракторов необходимый для получения их оценочных показателей, определения возможностей агрегатирования с машинами и орудиями и получения информации для технико-экономических расчётов при проектировании МТА.

***Научная гипотеза.*** Повышение эффективности функционирования сельскохозяйственных агрегатов, работающих в переменных условиях внешней среды может обеспечиваться путем выявления закономерностей протекания процессов взаимодействия агрегатов с этой средой и установления соответствующих рациональных параметров МТА.

***Реализация работы.*** Полученные в результате исследований материалы использованы для определения структуры технических средств, обоснования их оптимальных параметров, определения условий функционирования машин и рационального их обеспечения эксплуатационными материалами, что необходимо для разработки, испытаний, организации эффективного использования технических средств с обеспечением высоких технико-экономических показателей.

Результаты исследований применялись на ОАО «Ставропольремсельмаш» при создании комбинированных почвообрабатывающих агрегатов и посевных машин, а также использовались Министерством сельского хозяйства и продовольствия Ставропольского края при внедрении ресурсосберегающих приёмов обработки почвы и посева и технических средств обеспечения этих технологий. Установки для восстановления свойств свойств отработанных автотракторных масел работают на предприятиях Краснодарского и Ставропольского краёв.

***На защиту выносятся следующие положения:***

- структурная модель обоснования и эффективного функционирования МТА;
- методика обоснования параметрических рядов МТА и их рациональных параметров, обеспечивающая минимум недоиспользованной мощности;

- методика определения тягово-динамических показателей МТА различных компоновочных схем, учитывающая характер изменения крутящего момента двигателя, что повышает точность их оценки;

- методика определения эксплуатационно-технологических показателей МТА, которая учитывает вероятностные условия нагрузки при различных режимах работы;

- параметры высевяющих систем зерновых сеялок, обеспечивающие качественное выполнение процесса, так как выходные показатели моделируются с учётом требований агротехники;

- обоснование структуры МТА в зависимости от условий функционирования, учитывающее влияние основных факторов и обеспечивающее формирование МТП;

- параметры рабочих органов почвообрабатывающих машин для снижения их энергоёмкости и повышения качества обработки почвы путём оптимизации поверхности, взаимодействующей с обрабатываемым материалом.

**Апробация.** Основные результаты исследований докладывались на научно-технических конференциях ВНИПТИМЭСХ (1990-2008 гг.), на научно-технической конференции в ВИМе (2003г.), на научно-технических конференциях в ГОСНИТИ (2007 г.), МГАУ (2007 г.), КубГАУ (2007 г.), на международной научно-практической конференции РГАСХМ, ДГТУ (2008 г.), частично использовались на курсах, читаемых на кафедре «Теоретическая механика» АЧГАА. Результаты работы изложены в опубликованных статьях в центральных журналах, в сборниках трудов институтов и монографии.

**Объём и структура работы.** Диссертация состоит из введения, семи разделов, общих выводов и рекомендаций, списка использованной литературы, который включает 335 наименований и приложений. Диссертация изложена на 332 страницах основного текста, имеет 82 рисунка и 42 таблицы.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Научные основы исследований сельскохозяйственных машин и машинных агрегатов сформированы на базе работ В.П. Горячкина, И.И. Артоболевского, В.Н.Болтинского, П.М. Василенко, М.Н. Летошнев, Б.С. Свиршевского.

Проблема повышения эффективности функционирования МТА постоянно находится в разработках ведущих научных учреждений страны, таких как ВИМ, ВНИПТИМЭСХ, ВНИИТиН, СибИМЭ, ГОСНИТИ, НАТИ, СЗНИИМЭСХ, КубГАУ, ЧГАУ и др. Значительный вклад в решение поставленной проблемы внесли исследования Л.П. Кормановского, В.М. Кряжкова, И.П. Ксеновича, Г.Е. Листопада, В.В. Кузнецова, Н.М. Морозова, М.С. Рунчева, Э.И. Липковича, В.В. Бледных, Л.В. Погорелова, Л.Е. Агеева, А.Б. Лурье, С.А. Иофинова, В.Д. Шеповалова, В.Б. Рыкова, Л.В. Гячева, Н.М. Беспамятновой, Ю.И. Бершицкого, Н.П. Бутова, Ю.К. Киртбая, Л.М. Грошева, В.Н. Плешакова, В.И. Фортуна, А.И. Бурьянова, Я.П. Лобачевского, Г.Г. Маслова, В.П. Коваленко, И.М. Панова, В.А. Русанова, Г.В. Веденяпина, А.К. Диденко, В.В. Кацыгина, Д.А. Чудакова и др. учёных.

**Во введении** дана характеристика рассматриваемой проблемы, сформулирована её актуальность, цель и значимость работы, а также основные положения, выносимые на защиту.

В главе «*Состояние проблемы, её содержание и задачи исследований*» рассмотрены условия, в которых работают различные типы с.-х. МТА и требования технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

Установлено, что изменчивость условий функционирования оказывает суще-

ственное влияние на выходные показатели МТА. В зависимости от видов работ коэффициент вариации удельного тягового сопротивления изменяется в пределах 7-24 %. Изменчивость тягового сопротивления вызывает значительный ( $\pm 17-27$  %) разброс производительности МТА, которая в свою очередь вызывает изменения технико-экономических показателей на  $\pm 9-15$  % от среднего значения.

Технологии предъявляют к сельскохозяйственным МТА требования, которые при механической обработке почвы должны обеспечивать следующее (по Кирюшину):

- оптимальную плотность почвы и её структурное состояние;
- регулирование водного баланса почвы и ландшафтов (обеспечение перевода осадков в почвогрунтовую толщу, сокращение поверхностного стока и уменьшение физического испарения);
- предотвращение эрозии и дефляции почвы;
- регулирование режима органического вещества и биогенных элементов, размещение удобрений и мелиорантов в пахотном слое;
- регулирование фитосанитарных условий;
- энергосбережение и экономичность.

Внешняя среда, в условиях которой работают сельскохозяйственные агрегаты, представляет собой основные ограничения эффективности их функционирования, так как оказывают влияние на выходные показатели. Следовательно, необходимо знать общие закономерности внешних воздействий и их характеристики, чтобы определить параметры МТА, обеспечивающие их работу в зоне допускаемых значений. При этом оценка уровня функционирования производится по вероятности сохранения допуска (рис. 1).

В соответствии с рисунком 1, на входе динамической системы действуют векторные функции условий работы ( $F$ ) и управления ( $U$ ).

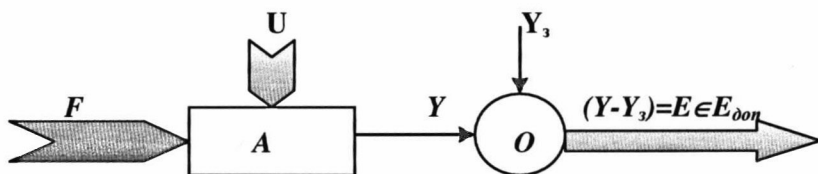


Рисунок 1 - Схема оценки уровня функционирования агрегата

В результате преобразования входных функций динамической системой ( $A$ ) на выходе получается векторная функция ( $Y$ ), которая и определяет, как работает агрегат в заданных условиях и насколько точно он выполняет требования агротехнологий, экологии, условий труда и др. Но для того, чтобы узнать насколько точно выполняет агрегат указанные требования, выходную векторную функцию необходимо сравнить с некоторым вектором ( $Y_3$ ), который показывает, как должна работать динамическая система. Разность между указанными векторами ( $E$ ) и определяет ту ошибку, которую совершает динамическая система в заданных условиях эксплуатации. В условиях сельскохозяйственного производства нельзя создать агрегат, который обеспечивал бы  $E = 0$ , но обеспечить минимальное значение ошибки необходимо.

Оценка опытных образцов перспективных схем сельскохозяйственных агрегатов экспертным методом показывает, что наиболее предпочтительной схемой явля-

ется агрегат моноблочной конструкции, оборудованный сменным гусеничным двигателем, так как в ряде рангов он занимает первое место. Коэффициент конкордации при этом составляет 0,719, что указывает на высокую степень согласованности мнений экспертов.

Коэффициент конкордации определялся по формуле:

$$W = \frac{12S}{m^2 k (k^2 - 1)}, \quad (1)$$

где  $S$  – сумма квадратов отклонений;  $m$ ,  $k$  – количество экспертов и количество оцениваемых агрегатов соответственно.

Проведенный анализ состояния проблемы в соответствии с поставленной целью позволил сформулировать задачи исследований.

В главе «*Динамика технологической эффективности сельскохозяйственных МТА*» приведены результаты исследований по формированию параметрических рядов МЭС, так как показатели уровня их функционирования определяются не только их параметрами, но и структурой МТП. В связи с этим были разработаны принципы построения параметрического ряда сельскохозяйственных МТА, в основу которых положено обеспечение минимума недоиспользованной мощности и экономически оптимального перекрытия между смежными типоразмерами ряда, что обеспечивается переменным знаменателем прогрессии ряда, который изменяется по определённому закону вместе с ростом порядкового номера типоразмеров.

Наиболее общими требованиями к параметрическому ряду являются обеспечение минимума типоразмеров, обеспечение преемственности технических средств и обеспечение их работы в зоне наибольших значений тягового КПД.

Преемственность технических средств диктуется экономической целесообразностью, так как многие машины уже освоены промышленностью и было бы неправильным игнорировать это положение. Поэтому в параметрическом ряду оставлен трактор тягового класса 3 как наиболее эффективный и распространённый у потребителя.

Для получения минимума типоразмеров и обеспечения их работы в зоне наибольших значений тягового КПД знаменатель прогрессии ряда выбирается таким образом, чтобы параметрический ряд перекрывал весь диапазон условий функционирования, а каждый типоразмер работал в своей оптимальной зоне. Но в этом случае смежные типоразмеры должны иметь общие границы. При таких условиях отношение верхней границы каждого типоразмера к нижней является числом постоянным, но такая последовательность чисел представляет собой геометрическую прогрессию, а это постоянное число является знаменателем прогрессии.

Следовательно, можно записать:

$$\frac{P_1^*}{P_1''} = \frac{G_1 \varphi^*}{G_1 \varphi''} = q; \quad \frac{P_2^*}{P_2''} = \frac{G_2 \varphi^*}{G_2 \varphi''} = q; \quad \frac{P_3^*}{P_3''} = \frac{G_3 \varphi^*}{G_3 \varphi''} \dots \frac{P_n^*}{P_n''} = \frac{G_n \varphi^*}{G_n \varphi''} = q, \quad (2)$$

где  $P_1^*$ ,  $P_1''$  – верхняя и нижняя границы тягового усилия;  $G$  – масса трактора;  $\varphi$  – коэффициент использования сцепного веса;  $q$  – знаменатель прогрессии.

Так как масса ( $G$ ) во всех этих уравнениях сокращается, то оказывается, что знаменатель параметрического ряда зависит только от верхнего и нижнего значений коэффициента сцепления ( $\varphi^*$ ,  $\varphi''$ ) в зоне эффективного использования МТА, которые можно определить:

$$\left. \begin{aligned} \eta &= f(\varphi) \\ \eta &= (0,9 - 0,95) \eta_m^{\max} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $\eta$  - КПД трактора.

Как уже отмечалось, в условиях сельскохозяйственного производства для обеспечения всего диапазона тяговых сопротивлений необходимы МТА на базе энергетических средств различных тяговых классов, каждому из которых отводится своя тяговая зона, в которой работа выполняется с наиболее высоким значением тягового КПД и нельзя допустить, чтобы в общем тяговом диапазоне параметрического ряда были не перекрытые участки, на которых не может быть реализован ни один тип МТА из-за низких значений тягового КПД. В то же время эти условия требуют даже некоторого перекрытия тяговых диапазонов соседних типоразмеров, а это значит, что практически возможно построить множество параметрических рядов различной плотности.

При этом возникает задача определения оптимальной плотности параметрического ряда, так как слишком плотный ряд дает излишне много типоразмеров МТА, что ведет к снижению эффективности из-за многомарочности, а разреженный ряд не обеспечивает перекрытий между смежными типоразмерами. Таким образом, возникает задача обеспечения экономически оптимальной плотности параметрического ряда, которая ещё никем не решалась. При этом были рассмотрены параметрические ряды без перекрытия между смежными типоразмерами и с перекрытием 7, 14 и 21%. Наилучшие показатели обеспечивает параметрический ряд с перекрытием 14 %. Знаменатель прогрессии ряда составляет  $q = 1,66$  (рис. 2).

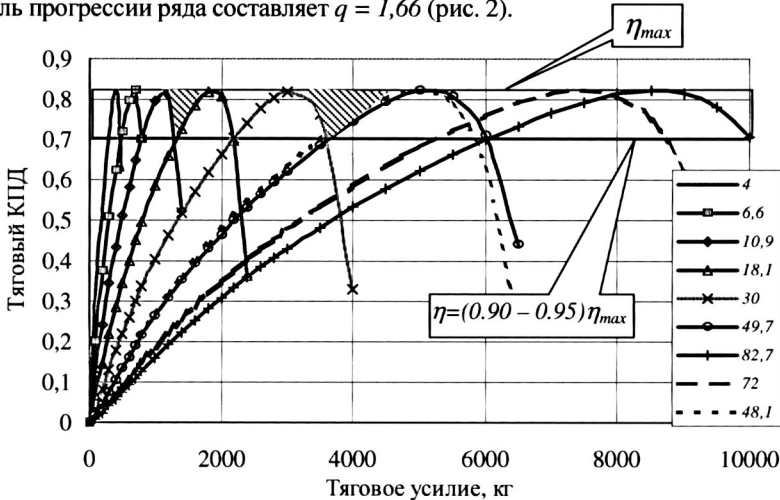


Рисунок 2 - Параметрический ряд МЭС

Однако из теории рядов известно, что если знаменатель геометрической прогрессии  $q > 1$ , то ряд расходится, так как частичная сумма ряда при  $n \rightarrow \infty$  не имеет предела (стремится к бесконечности). А это значит, что каждый последующий член ряда больше предыдущего и по мере увеличения номера последующего члена он может стать больше любого ранее заданного числа.

Такое положение приводит к тому, что эффективность параметрического ряда

МТА снижается, так как увеличивается диапазон недоиспользованной мощности (на рис. 2 он заштрихован).

Оценка диапазонов между смежными вариантами показывает, что в начале ряда они меньше среднего значения, т.е. ряд загущен, а в конце ряда наоборот - больше среднего значения, и ряд становится всё более разреженным, а, следовательно, увеличивается значение недоиспользованной мощности.

В связи с этим, знаменатель прогрессии ряда должен иметь переменное значение. При этом он должен изменяться таким образом, чтобы в начале ряда темп этого изменения был низким, а по мере роста номера членов ряда темп изменения становился всё выше. Такой характер изменения имеет дискриминантная кривая (огibaющая) семейства окружностей, характер изменения которой и принят для уточнения знаменателя прогрессии. Параметры оптимального параметрического ряда МЭС приведены в таблице 1. Они позволяют получить так же типоразмерные ряды двигателей и конструктивные параметры агрегатов.

Таблица 1 - Показатели рационального параметрического ряда МТА

Показатели	Порядковый номер членов ряда						
	1	2	3	4	5	6	7
Тяговый класс	0,4	0,7	1,1	1,8	3,0	5,0	7,0
Тяговое усилие, кН	4,0	6,7	11,1	18,5	30,0	48,2	72,0
Масса, кг <i>гусеничные колёсные</i>	-	-	1985	3297	5464	8961	12750
	1000	1650	2725	4550	7500	12300	-
Мощность, кВт <i>гусеничные колёсные</i>	-	-	38	64	110	173	250
	16	26	43	72	118	194	-
Тяговый КПД <i>гусеничные колёсные</i>	-	-	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
	0,665	0,665	0,665	0,665	0,665	0,665	-
Буксование, % <i>гусеничные колёсные</i>	-	-	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44
	9,72	9,72	9,72	9,72	9,72	9,72	-
Коэффициент сцепления <i>гусеничные колёсные</i>	-	-	0,549	0,549	0,549	0,549	0,549
	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	-
Ширина захвата агрегатов по видам работ							
Пахота	-	-	-	1,0-1,4	1,4-2,2	2,4-3,5	3,3-5,2
Культивация	-	1,9-2,6	3,2-4,4	5,4-7,2	8,8-12,0	14,5-9,7	20-28
Посев	2,0	3,4	5,6	9,0	15,4	25,2	35,9
Боронование	4,0	6,6	10,9	18,2	30,0	35,0	35,0
Дискование	-	1,5	2,4	4,0	6,7	10,9	15,6
Обработка АПК	-	-	1,3	2,1	3,5	5,8	8,2
Глубокое рыхление	-	-	1,1	1,9	3,1	5,0	7,2

Таким образом, разработанная методика позволяет установить структуру МТА,

обеспечивающую высокий уровень их функционирования. Влияние структуры МТА ( $x_1$ ) на показатели использования для различных производственных условий ( $x_2$ ) установлены методом планирования экспериментов в двухфакторном эксперименте. В качестве критерия оптимизации приняты приведенные затраты ( $\Pi$ ), затраты труда ( $З$ ), капитальные вложения ( $K$ ), эксплуатационные затраты ( $\mathcal{E}$ ).

После реализации матрицы планирования эксперимента, определения коэффициентов и приведения уравнений к канонической форме получены уравнения:

$$\Pi - 3,97 = 0,0825 x_1^2 - 0,218 x_2^2; \quad K - 7,11 = 0,992 x_1^2 - 0,902 x_2^2; \quad (4)$$

$$З - 1,52 = 0,162 x_1^2 + 1,748 x_2^2; \quad \mathcal{E} - 0,292 = 0,066 x_1^2 - 0,136 x_2^2$$

Анализ поверхностей отклика проводится с помощью двумерных сечений, придавая различные значения критерию оптимизации в области допустимых значений варьирования факторов. На рисунках 3,4,5,6 приведены поверхности отклика изменения приведенных затрат, эксплуатационных затрат, капитальных вложений и затрат труда.

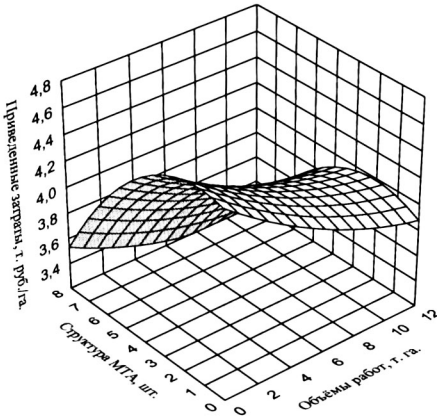


Рисунок 3 - Изменение приведенных затрат

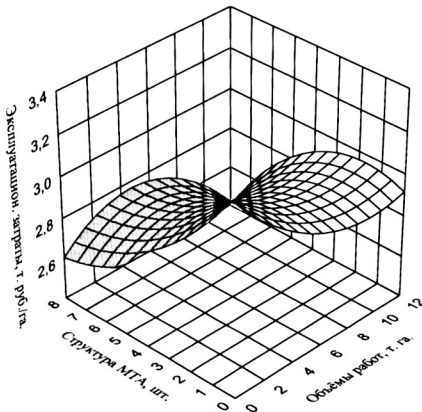


Рисунок 4 – Изменение эксплуатационных затрат

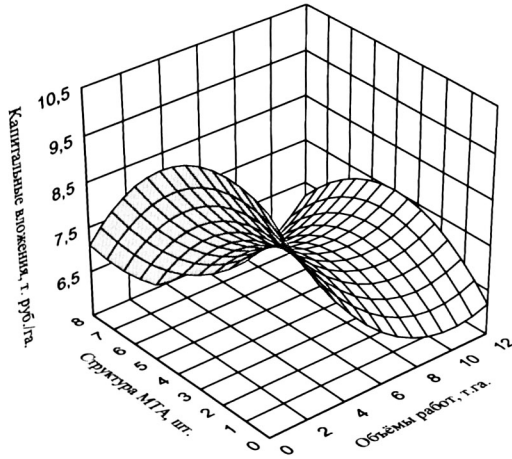


Рисунок 5 – Изменение капитальных вложений

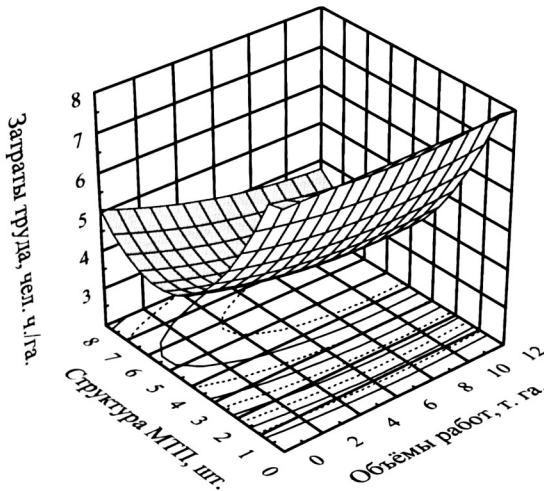


Рисунок 6 – Изменение затрат труда

В главе «**Энергетические параметры, определяющие эффективность функционирования МТА**» приведены исследования по обоснованию базовых параметров энергетических средств, которые являются составной частью агрегата, определению основных эксплуатационно-технических показателей агрегатов в переменных условиях внешней среды.



Установлено, что параметры МТА оказывают существенное влияние на показатели уровня их функционирования, что предъявляет особые требования к их обоснованию.

Режимы работы силовой установки МТА в процессе их функционирования изменяются. Для этих изменений силовая установка имеет всережимный регулятор, который позволяет получить такую характеристику двигателя, для обеспечения адаптации МТА к различным режимам работы. Анализ различных типов аппроксимации корректорной ветви характеристики двигателя показывает, что в наибольшей степени характеру ее протекания соответствует уравнение эллипса, так как при этом обеспечивается наибольшая точность (ошибка не превышает 3%). При этом зависимость частоты вращения вала двигателя от нагрузки определяется выражением:

$$n_0 = n_M + \frac{(n_H - n_M)}{(M_m - M_H)} \sqrt{(M_m - M_H)^2 - \left[ \frac{(P_{кр} \varphi_H + P_{кр}^H) r_k}{i_{mp} \varphi_H \eta_{mp}} - \frac{7162 P_{кр}^H \mathcal{E}}{\varphi_H n_H} \right]^2}, \quad (5)$$

где  $n_0, n_M, n_H$  - обороты двигателя на корректорной ветви характеристики, при максимальном и номинальном моменте;  $M_m, M_H$  - максимальный и номинальный момент двигателя;  $i_{mp}, \mathcal{E}, P_{кр}$  - передаточное число трансмиссии, энергонасыщенность и тяговое усилие.

При обосновании передаточных чисел трансмиссии трактора необходимо использовать диапазон потенциальной тяговой характеристики в зоне наибольших значений тягового КПД и передаточные числа выбрать так, чтобы не допустить снижения загрузки двигателя ниже допустимых значений при переключениях передач. Существенная особенность методики обоснования передаточных чисел состоит в том, что необходимо сначала определить параметры трансмиссии на условной передаче, которая совмещается с потенциальной тяговой характеристикой при максимальном значении тягового КПД и уже потом определять передаточные числа на основной и других передачах. При этом чтобы иметь резерв мощности для преодоления перегрузок, обусловленных случайным характером тягового сопротивления основная передача совмещается с потенциальной тяговой характеристикой при значении тягового КПД равном  $0,92-0,95 \eta_{max}$ .

Этому положению методики определения передаточных чисел трансмиссии соответствует уравнение:

$$i_n = \frac{0.0014 \cdot n_n \cdot r_k \cdot (\varphi_n + f) \cdot \eta_{зд.min}^{(n-2)}}{\mathcal{E} \eta_{тр} \cdot \eta_{зо}^{max}}, \quad (6)$$

где  $r_k f, \eta_{зо}$  - радиус ведущего колеса, коэффициент перекачивания и коэффициент загрузки двигателя.

Гидростатическая трансмиссия обладает некоторыми преимуществами по сравнению с механической трансмиссией. Общий диапазон регулирования скоростным и силовым потоками этой трансмиссии определяется параметрами тяговой машины для которой она проектируется.

Разработанная методика определения тяговых показателей МТА и алгоритм для её реализации обеспечивают получение результатов с достаточной точностью, а

для её определения достаточно исходной информации, заключённой в технической характеристике двигателя и трактора, следовательно, можно определить показатели как существующих, так и вновь проектируемых тракторов. При этом учитывается характер протекания регуляторной характеристики двигателя трактора от нагрузки на регуляторной и корректорной ветвях этой характеристики, что даёт возможность получить оценки уровня функционирования МТА с наибольшей точностью. Алгоритм для определения тяговых показателей трактора представлен уравнениями 7, 8, 9, 10, а его схема приведена на рисунке 7.

а) на регуляторной ветви

скорость движения

$$V_p = \frac{0,377 \cdot r_k \cdot (1 - \delta)}{i_{тр}} \left[ n_x - \frac{(n_x - n_n)(P_{кр} \varphi_n + P_{кр}^H f) r_k n_n}{716,2 i_{мп} \eta_{мп} P_{кр}^H \mathfrak{E}} \right]. \quad (7)$$

крюковая мощность

$$N_p = \frac{P_{кр} \cdot r_k \cdot (1 - \delta)}{716,2 \cdot i_{тр}} \left[ n_x - \frac{(n_x - n_n)(P_{кр} \varphi_n + P_{кр}^H f) r_k n_n}{716,2 i_{мп} \eta_{мп} P_{кр}^H \mathfrak{E}} \right]. \quad (8)$$

б) на корректорной ветви

скорость движения

$$V_6 = \frac{0,377 r_k (1 - \delta)}{i_{тр}} \cdot \left\{ n_M + \frac{(n_H - n_M)}{(M_m - M_H)} \cdot \right. \quad (9)$$

$$\left. \sqrt{(M_m - M_H)^2 - \left[ \frac{(P_{кр} \varphi_H + P_{кр}^H f) r_k}{i_{мп} \varphi_H \eta_{мп}} - \frac{716,2 P_{кр}^H \mathfrak{E}}{\varphi_H n_H} \right]^2} \right\}.$$

крюковая мощность

$$N_6 = \frac{P_{кр} \cdot r_k (1 - \delta)}{716,2 \cdot i_{тр}} \cdot \left\{ n_M + \frac{(n_H - n_M)}{(M_m - M_H)} \times \right. \quad (10)$$

$$\left. \sqrt{(M_m - M_H)^2 - \left[ \frac{(P_{кр} \varphi_H + P_{кр}^H f) r_k}{i_{мп} \varphi_H \eta_{мп}} - \frac{716,2 P_{кр}^H \mathfrak{E}}{\varphi_H n_H} \right]^2} \right\}.$$

Методика определения тяговых показателей бесступенчатой трансмиссии позволяет установить тягово-сцепные возможности трактора и определить параметры гидромашин, входящих в эту трансмиссию для её предварительного расчёта. Особенность методики состоит в том, что для определения зависимости скорости движения от нагрузки  $V_p = f(P_k)$  крутящий момент двигателя трактора и момент сил сопротивления приводится к валу гидромотора. После преобразований получим уравнение (11), по которому и строится тяговая характеристика (рис. 8).

$$V_p = \frac{270 N_{\delta\delta} \eta_{\delta n} \eta_p \eta_{зм} \eta_6}{P_{кр} + Gf}. \quad (11)$$

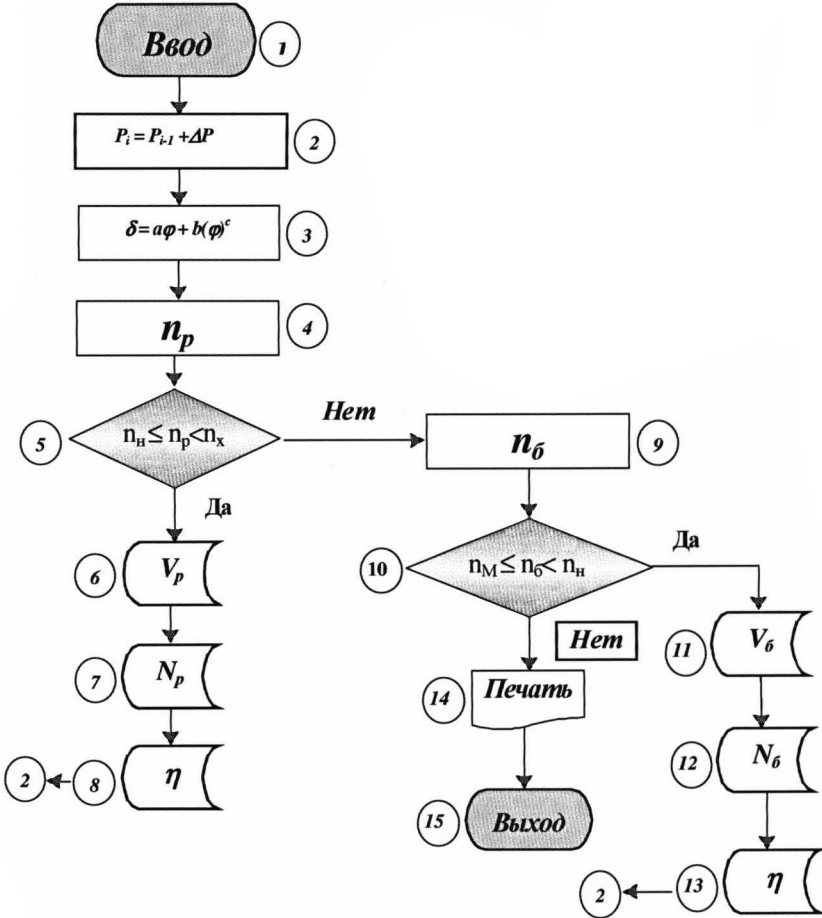


Рисунок 7 - Блок-схема алгоритма для определения тяговых показателей трактора

Для энергетических средств различной энергонасыщенности уравнение позволяет получить семейство кривых, которые отличаются друг от друга на некоторую величину (на рис.8 приведены кривые для  $N_{\text{дв}} = 120, 170, 220$  л. с.).

Для того, чтобы среди различных решений определить кривую, проходящую через заданную точку, необходимо знать начальные условия, которые задаются техническими требованиями на разработку трактора, так, например, для трактора тягового класса 3,0 такими начальными условиями будут номинальное тяговое усилие  $P_{\text{кр}} = 3000$  кг и рабочая скорость при номинальном тяговом усилии  $V_p = 9$  км/ч.

Основным источником колебаний МТА при работе их на характерных фонах (стерня, поле, подготовленное под посев, вспаханное поле, полевая дорога и др.) яв-

ляются неровности профиля поверхности поля, которые воздействуют на их ходовые системы.

Спектральные характеристики неровностей позволяют определить их длину, соответствующую каждой частоте. Сравнивая эти длины с конструктивными параметрами ходовых систем МТА, можно выделить те неровности, которые в наибольшей степени воздействуют на агрегат.

Анализ этих воздействий показывает, что гусеничный движитель имеет существенные преимущества по сравнению с колёсным движителем, так как он фильтрует (сглаживает) в несколько раз больше неровностей, что улучшает условия труда, плавность хода, качество выполняемых операций и другие показатели МТА и тем самым повышает уровень их функционирования. Так, например, на активный диапазон частот колёсного движителя трактора К-701 приходится значительно большая доля дисперсии профиля поверхности поля, чем у этого трактора на сменных гусеничных движителях. На паровом поле эта величина составляет 108-169%, на вспаханном поле, полевой дороге и стерне – соответственно 131-197%, 170-213% и 105-124%.

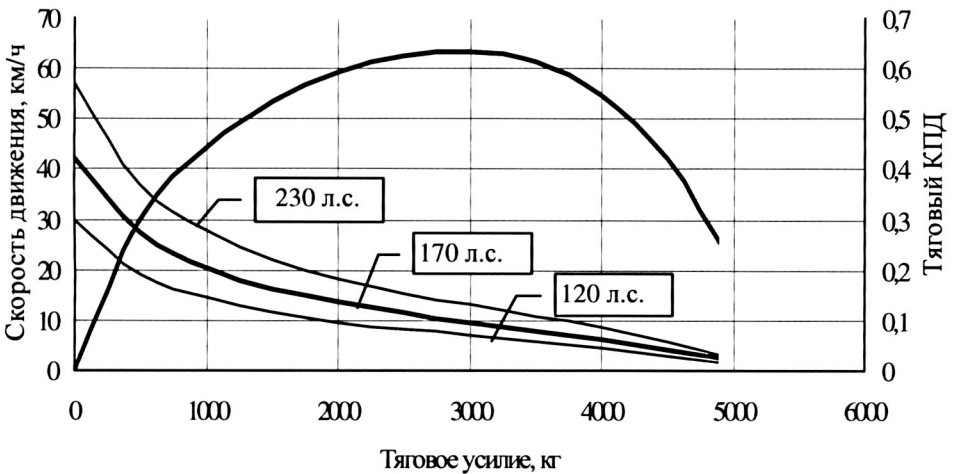


Рисунок 8 – Тяговая характеристика трактора класса 3

Особенность методики определения эксплуатационно-технологических показателей МТА состоит в том, что учитывается вероятностный характер изменения тягового сопротивления агрегата. При этом по функции распределения можно определить долю работы агрегата на той или другой скорости, а, следовательно, и установить среднюю скорость движения и производительность МТА, что значительно повышает точность расчётов при оценке уровня функционирования агрегатов.

В главе «Анализ механизма адаптации сельскохозяйственных МТА» приведены результаты исследований механизма адаптации МТА на примере сеялочных агрегатов и методические положения по установлению их оптимальных параметров.

Под действием внешних условий (воздействий) сельскохозяйственный МТА постоянно изменяет свои параметры. Чтобы параметры находились в зоне допускае-

мых значений, оценки этих параметров необходимо постоянно уточнять. Если этого не делать, то качество выполняемой работы не будет соответствовать предъявляемым к ней требованиям, да и невозможно предсказать поведение самого агрегата. При этом уровень функционирования МТА снижается. Такое уточнение в процессе работы агрегата получило название адаптивное управление.

Причинами отклонения параметров от заданного значения являются помехи (условия функционирования), к наиболее важным из них многие авторы относят профиль поверхности фона, на котором работают сельскохозяйственные МТА, так как этот фон характерен для работы любого типа агрегатов.

В связи с этим были установлены основные характеристики профиля поверхности в виде коэффициентов корреляционных функций и соответствующие им спектральные плотности, которые изменяются только от характеристики рассматриваемых фонов и скорости движения, следовательно, их можно использовать для определения параметров любых сельскохозяйственных агрегатов, работающих на этих фонах.

Среди почвообрабатывающих и посевных агрегатов наиболее сложными по технологическому процессу представляются сеялочные агрегаты, так как их рабочий процесс включает ряд последовательно или параллельно выполняемых операций. В общем случае эти операции включают: отбор семян высевальным аппаратом из бункера, формирование семенного потока на выходе из высевального аппарата, транспортирование семян по семяпроводу к сошнику, формирование посевной борозды, укладку и распределение по ней семян, заделку семян специальными рабочими органами, прикапывание бороздок семян, выравнивание и мульчирование поверхности поля. Каждый из этих этапов оказывает влияние на качество выполнения технологического процесса в целом. Наиболее важными показателями качества посевного агрегата являются распределение высеваемого материала по площади питания и неравномерность посева, которые оказывают влияние на урожайность сельскохозяйственных культур.

Для обеспечения требований агротехники по распределению высеваемого материала по площади питания конструкция высевального аппарата должна обеспечивать высеv семян или удобрений равномерным непрерывным потоком, а не дискретно (дозами), как наиболее распространённые катушечные аппараты с прямым зубом.

Проведенные экспериментальные исследования (рис.9) показывают, что в наибольшей степени требованиям агротехники отвечают винтовые катушечные высевальные аппараты с косым зубом и аппараты вибродискретного типа, при этом последние хорошо komponуются с современными сеялками, обеспечивают независимость работы от внешних факторов, легко настраиваются на высеv культур с различными свойствами и значительно снижают металлоёмкость агрегата.

Параметры семяпроводов оказывают влияние на качество работы высевальной системы сеялки. При этом необходимо выбрать такую форму семяпровода, при которой обеспечивается наиболее быстрый спуск потока семян от высевального аппарата до сошника, так как время спуска оказывает влияние на неравномерность посева.

Результатами исследований установлено, что линией наиболее быстрого спуска потока семян из высевального аппарата до сошника является дуга циклоиды, следовательно, семяпровод сеялки должен иметь форму циклоиды, но радиус образующей окружности циклоиды должен быть выбран таким образом, чтобы арка циклоиды прошла через заданные точки.

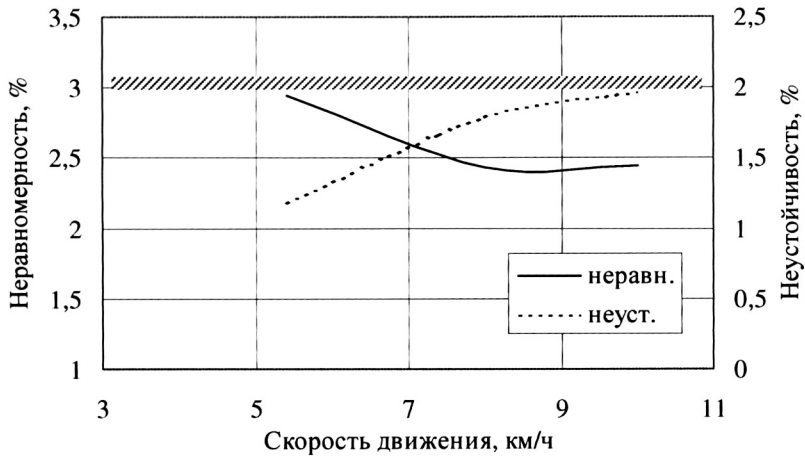


Рисунок 9 - Показатели качества высева аппаратами вибродискретного типа

В связи с этим разработана методика, которая позволяет определить параметры семяпроводов, отвечающие указанным требованиям для любого типа сеялок. На рисунке 10 показана форма семяпроводов применительно к сеялкам типа СЗП.

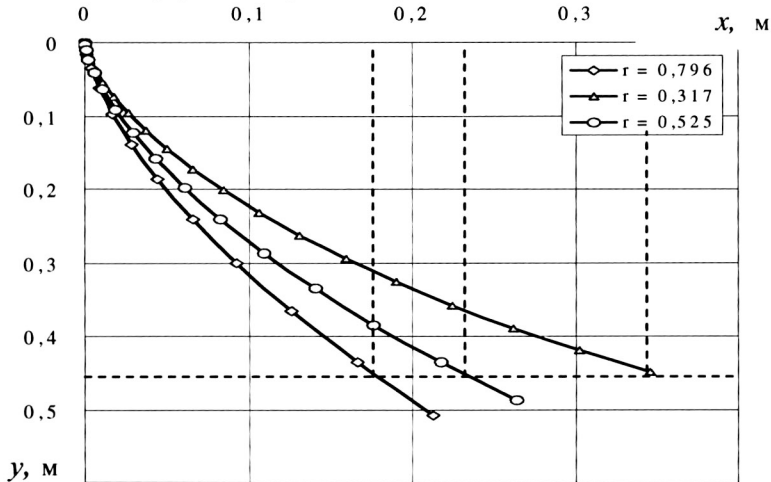


Рисунок 10 – Параметры семяпроводов сеялок типа СЗП

Известно, что динамические свойства сельскохозяйственного агрегата определяются его передаточной функцией, которую можно установить различными способами. Передаточная функция связывает входные воздействия на агрегат с его выход-

ными показателями. С другой стороны, спектральная плотность процесса на выходе системы ( $S_y(\omega)$ ) тоже связана со спектральной плотностью процесса на входе системы ( $S_x(\omega)$ ).

В свою очередь частотная характеристика случайного процесса  $A(\omega)$  может быть получена из передаточной функции подстановкой  $p = j\omega$ . Тогда можно установить частотную характеристику случайного процесса по формуле:

$$A(\omega) = \sqrt{S_y(\omega) / S_x(\omega)}. \quad (12)$$

Как уже отмечалось, основным входным воздействием на сельскохозяйственные МТА является профиль поверхности фона, на котором работает этот агрегат. Основные характеристики этих фонов нами обобщены.

Нормативные выходные показатели сеялочных агрегатов тоже известны, так как они регламентируются агротехническими требованиями на эти машины. В частности при глубине заделки семян равной 6-8 см отклонения от этой глубины не должны превышать  $\pm 1$  см.

Таким образом, известны входные и выходные характеристики случайных процессов и, следовательно, можно установить оператор системы, обеспечивающий оптимальное преобразование входных воздействий, т.е. можно провести синтез по-сего агрегата, как динамической системы.

При этом если спектральные плотности входного и выходного случайных процессов представлены своими нормированными значениями, то получим уравнение:

$$A(\omega) = \sqrt{\sigma_y \cdot D_y / \sigma_x \cdot D_x}, \quad (13)$$

где  $\sigma_y$ ,  $\sigma_x$  – нормированные спектральные плотности выходного и входного случайных процессов;

$D_y$ ,  $D_x$  – дисперсии выходного и входного случайных процессов.

Исходными данными для определения спектральной плотности выходного (глубина заделки семян) процесса являлись реализации, полученные в результате моделирования этого процесса.

Для определения оптимальных параметров динамической системы необходимо знать зависимость амплитудно-частотной характеристики от этих параметров. При этом известно, что частотная характеристика представляет собой частный случай передаточной функции, которая в свою очередь зависит от параметров динамической системы. Для физически осуществимых устойчивых систем передаточную функцию можно заменить частотной характеристикой без потери информации.

При этом работу сошника сеялки можно представить как динамическую систему с двумя входами и одним выходом, так как на сошник с одной стороны действует возмущающая сила от профиля поверхности поля, с другой стороны – рама сеялки, с которой связан сошник. В результате воздействия этих факторов сошник с массой  $m$  смещается на величину  $y(t)$ , которая и является выходным показателем системы. При этом сошник связан с рамой сеялки через пружину с жесткостью  $k$  и демпфер с параметром  $c$ . На современных сеялках обычно нет специальных демпфирующих устройств, однако сошник движется в почве, которая в этом случае обладает демпфирующими свойствами.

Для определения передаточной функции системы необходимо знать уравнение движения, которое можно получить, пользуясь законами механики, согласно которым сумма всех сил, приложенных к массе, равна нулю.

$$F(t) + F_k(t) + F_c(t) + F_m(t) = 0 \quad (14)$$

$F_k(t) = -k(y(t) - x(t))$  - упругая сила;

$F_c(t) = -c(y'(t) - x'(t))$  - сила демпфирования;

$F_m(t) = -my''(t)$  - сила инерции.

С учётом этого была получена частотная характеристика, модуль которой определяется уравнением:

$$A(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2/\omega_c^2)^2 + 4n^2 \omega^2/\omega_c^2}}, \quad (15)$$

где  $\omega$   $\omega_c$  – частота вынужденных колебаний и частота собственных колебаний сошниковой группы.

Таким образом, с одной стороны амплитудно-частотная характеристика может быть выражена уравнением, которое связывает её с параметрами эксперимента (нормированные спектральные плотности, дисперсии), с другой стороны - уравнением, которое связывает её с параметрами динамической системы. Следовательно, сравнивая эти уравнения, можно определить параметры динамической системы.

На рисунке 11 приведена амплитудно-частотная характеристика, полученная в соответствии с этим уравнением.

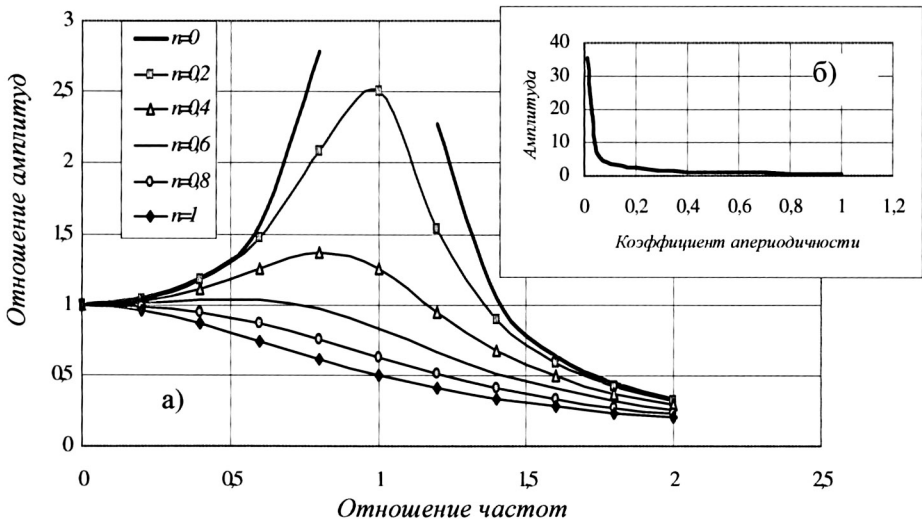


Рисунок 11 – Амплитудно-частотная характеристика сошниковой группы

Анализ кривых, приведенных на рисунке 11а, показывает, что при  $n=0$  и при



совпадении частоты собственных колебаний с частотой вынужденных колебаний  $\omega = \omega_c$  амплитуда колебаний возрастает до бесконечности, т.е. наступает явление резонанса. По мере увеличения параметра  $n$  значение амплитуды уменьшается, и при  $n=0.6$  амплитуда по величине не превышает значений, полученных в начале координат (рис. 11б) и не имеет всплесков по величине во всём диапазоне рассматриваемых частот, что является нижней границей установления параметров сошниковой группы сеялок.

Зависимость дисперсии выходного процесса от частоты колебаний получена при сравнении уравнений 13, 15 и определяется выражением:

$$D_y = \frac{\sigma_x D_x}{\sigma_y \left[ \left(1 - \omega^2 / \omega_c^2\right)^2 + 4n^2 \omega^2 / \omega_c^2 \right]}. \quad (16)$$

Таким образом, разработанная методика позволяет определить основные параметры сошниковой группы посевных машин. Она основана на сравнении экспериментальной амплитудно-частотной характеристики, которая связана с параметрами эксперимента (нормированные спектральные плотности, дисперсии), с амплитудно-частотной характеристикой, полученной в результате анализа условий движения динамической системы, которая в свою очередь связана с параметрами этой динамической системы.

В главе «*Техническая эксплуатация как фактор повышения эффективности функционирования МТА*» установлено, что техническая эксплуатация, которая включает в себя своевременное и качественное проведение технического обслуживания и ремонта, рациональное использование топлива и смазочных материалов, использование эффективных приёмов хранения техники, оказывает влияние на работоспособность машин и их надёжность.

Надёжность – это свойство машин выполнять заданные функции, сохраняя выходные эксплуатационные характеристики в заданных пределах в течение определённого времени. Уже это определение указывает на то, что техническая эксплуатация МТП является важнейшим фактором, обеспечивающим высокий уровень эффективности функционирования сельскохозяйственных агрегатов. Без учёта этого фактора даже самая строгая оптимизация параметров МТА не сможет обеспечить их эффективного использования. При этом эффективное использование топливно-смазочных материалов обеспечивает не только надёжность работы МТА, но и поддержание их параметров в зоне допускаемых значений, что является обязательным условием высокого уровня их функционирования. Более того, достижения науки и техники показывают, что надёжные, долговечные машины, оборудование и приборы могут быть созданы только при удачном решении задач трения, износа и смазки.

Современные тенденции развития техники вызывают необходимость учитывать потребление материалов, топлива и энергии в полном её жизненном цикле. При этом высокий уровень развития и функционирования техники определяется минимальным потреблением указанных ресурсов, возможностью утилизации и повторного использования. Повторное использование материалов в 1,2-10,0 раз снижает расход энергии и негативное воздействие на окружающую среду по сравнению с производством новых материалов из сырьевых ресурсов.

В связи с этим, большим резервом повышения эффективности функционирования МТА может стать повторное использование отработанных масел после восстановления их основных показателей, утративших своё значение при эксплуатации техники, так как отработанные масла являются ценным сырьём для производства

смазочных материалов. При этом известно, что если из 100 т нефтяного сырья можно получить около 14 т масел и смазок, то из такого же количества отработанных масел – 60-80 т регенерированных продуктов.

При проведении обширных экспериментальных и аналитических исследований установлено, что при обработке автотракторных масел ультразвуком при определённых условиях (время обработки ультразвуком) изменяется их дисперсионный состав, что и оказывает влияние на их свойства.

Для оптимизации параметров очищенных масел целесообразным является приготовление смесей из очищенного и товарного масел. Эта задача решена методами линейного программирования. Установлена зависимость для определения состава смеси от изменения параметров очищенного масла, которая имеет вид:

$$C_o = 0,44Щ + 0,02В - 0,03ЩВ - 0,28, \quad (17)$$

где  $C_o$  – доля очищенного масла в составе смеси;  $Щ$ ,  $В$  – щелочное число и вязкость очищенного масла.

Эта зависимость позволяет с достаточной для практики точностью определить долю очищенного масла в составе смеси по известным параметрам, что проверено в условиях экспериментов.

Изучение трибологических свойств восстановленных масел, как на машине трения, так и в условиях рядовой эксплуатации показали, что восстановленное масло обеспечивает меньший коэффициент трения, меньшую температуру в зоне трения, более прочную защитную плёнку между трущимися поверхностями, а также меньший износ трущихся поверхностей.

Для примера на рисунке 12 приведена динамика износа трущихся поверхностей при работе различных масел, которая указывает на то, что восстановленное масло по своим свойствам не уступает (а в некоторых случаях даже превосходит) товарному маслу, что влияет на надёжность работающих машин и, следовательно, повышает эффективность их использования.

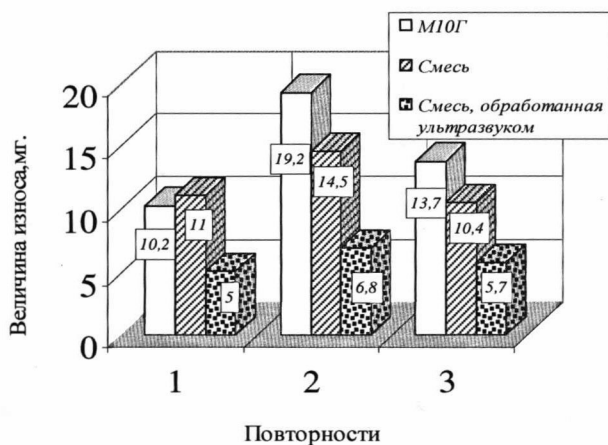


Рисунок 12 – Динамика износа трущихся поверхностей при работе различных масел

Проведенные исследования позволили отработать технологический процесс восстановления отработанных автотракторных масел и разработать технические средства для его реализации, которые используются в различных зонах страны.

В главе «*Технологическая энергоёмкость почвообрабатывающих МТА*» установлено, что с точки зрения выполнения технологического процесса обработки почвы, наиболее важную роль выполняют рабочие органы машины, так как именно они обеспечивают все показатели её назначения. Остальные конструктивные элементы выполняют только вспомогательные функции, а некоторые из них существенно снижают качество выполнения технологических операций (например, опорные колёса уплотняют почву).

С точки зрения энергоёмкости почвообрабатывающих машин различные элементы конструкции неодинаковы. Из анализа затрат энергии в технологических процессах сельскохозяйственного назначения видно, что полезная часть процесса – изменение обрабатываемого материала при взаимодействии с ним рабочего органа – требует значительно меньших затрат, чем процесс в целом.

Обязательной особенностью почвообрабатывающих машин является то, что их рабочие органы должны быть вынесены в зону взаимодействия с перерабатываемой средой, т. е. с почвой. Этот вынос осуществляется стойкой, часть которой тоже взаимодействует с почвой. Это взаимодействие требует дополнительных затрат энергии и никак не влияет на выполнение технологического процесса обработки почвы, а чаще снижает качество обработки, способствует выносу влаги из почвы, распыляет почву и др.

В общем случае если параметры рабочего органа строго оптимизированы, то практически отсутствуют варианты снижения его энергоёмкости и единственным вариантом является оптимизация параметров стойки. Необходимо отметить, что существует большое разнообразие стоек, которые применяются в сельхозмашиностроении. Это многообразие как раз и указывает на то, что ещё не выбрано лучшее. Некоторые результаты этих исследований показывают, что на долю стойки приходится от 4 до 18 % общего тягового сопротивления рабочего органа. Меньшая величина тягового сопротивления получена при обработке почвы на глубину 5-8 см. На этой глубине стойка лапы движется по уже деформированной лапой почве. С увеличением глубины обработки этот эффект пропадает, но впереди стойки образуется ядро уплотнения, которое перемещается вместе со стойкой, в результате чего тяговое сопротивление значительно возрастает. У культиваторов - плоскорезов на долю стойки уже приходится от 30 до 45 % общего тягового сопротивления рабочего органа.

Приведенные примеры показывают, что в общем тяговом сопротивлении рабочих органов машин и орудий, стойка является носителем значительной энергоёмкости процесса обработки почвы, хотя на сам процесс, как указывалось выше, не оказывает существенного влияния. Однако исключить стойку из конструкции машины невозможно, так как она выносит рабочий орган в нужную зону взаимодействия его с почвой без чего невозможно осуществлять технологический процесс обработки. На тяговое сопротивление оказывают влияние параметры стойки и свойства почвы. Свойствами почвы управлять невозможно, поэтому для повышения уровня функционирования сельскохозяйственных МТА необходимо оптимизировать параметры стойки.

Форма бокового профиля стойки может быть установлена методами вариационного исчисления. При этом экстремальной формой стойки является кривая, близкая к логарифмической.



ние почвы по почве значительно выше, чем трение почвы о сталь. Уплотнённое ядро почвы не образуется при угле заточки клина менее  $50^\circ$ .

В связи с проведенным анализом различных форм поперечного сечения стойки рабочего органа можно отметить, что наиболее рациональным является поперечное сечение стойки в виде плоскости, ограниченной выпуклой кривой (рис.14), так как угол  $\beta$  между вектором переносной скорости и нормалью к траектории движения почвы по поверхности стойки увеличивается и в зоне схода со стойки достигает величины  $90^\circ$ , если поперечное сечение стойки имеет форму эллипса.

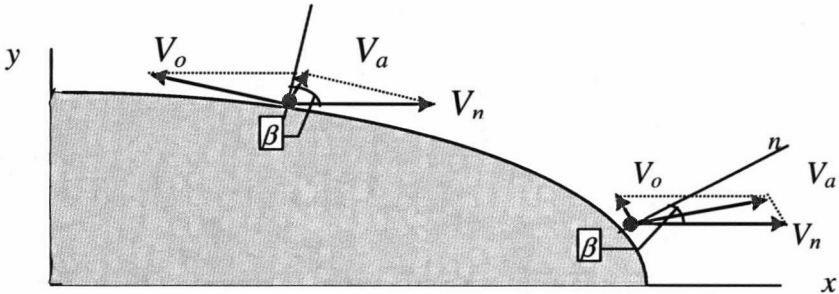


Рисунок 14 – Схема движения почвы по выпуклой кривой

Абсолютная скорость почвы уменьшается и при  $\beta = \pi/2$  становится равной нулю, а относительная скорость увеличивается и при указанной величине угла достигает своего максимального значения, равного  $V_o = V_n \sin \pi/2 = V_n$ . Таким образом, затраты энергии на отбрасывание почвы стойкой снижаются, а поскольку увеличивается относительная скорость движения почвы, то отсутствуют условия для образования уплотнённого ядра, следовательно общая энергоёмкость процесса обработки почвы уменьшается.

Однако в вершине эллипса существуют предпосылки для образования ядра уплотнения, так как в этой зоне скорость скольжения почвы (относительная скорость) имеет небольшую величину, особенно если параметры (оси) эллипса различаются между собой незначительно. В связи с этим одна из вершин эллипса должна оканчиваться острым углом, величина которого не должна быть более 50-ти градусов (рис. 15).

В главе «*Основные результаты исследований и их технико-экономическая эффективность*» установлены экономические показатели результатов исследований.

Эффективность функционирования МТА представляет собой совокупность свойств агрегатов, обеспечивающих пригодность их к применению в соответствии с назначением. К этим свойствам относятся: производительность, удельный расход топлива, коэффициент использования времени смены, удельная масса, качество выполняемых работ, энергоёмкость, адаптивность, экологичность и др.

Среди этих свойств МТА важнейшими являются обеспечение высокого качества выполнения технологических операций, адаптивность, экологичность, низкая энергоёмкость, высокая производительность, экономичность, которые в значительной степени и определяют их технико-экономические показатели.

Реализация задач обработки почвы наиболее полно и с минимальными затратами проявляется при адаптации МТА к почвенным условиям конкретного поля,

биологическим требованиям конкретной культуры и системе севооборотов и технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

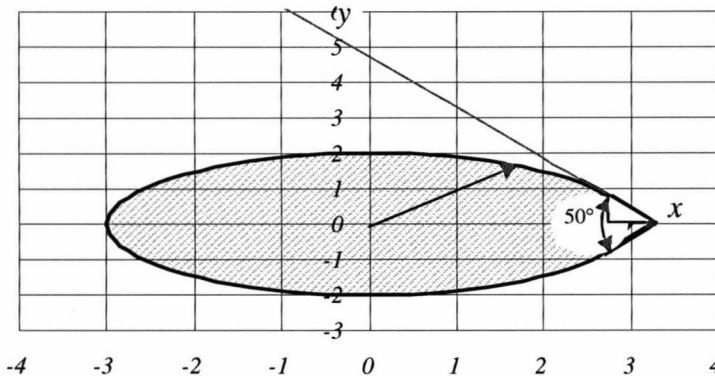


Рисунок 15 - Форма поперечного сечения стойки рабочего органа

Следовательно, эффективность функционирования МТА определяется не только свойствами динамической системы, но и условиями, в которых они функционируют, т.е. являются функциями внешней среды, которая включает вариации агроландшафта с его физико-механическими и пространственно-топологическими характеристиками, вариации структуры МТА и принципы их взаимодействия.

В связи с этим определение технико-экономических показателей проведено применительно к условиям Ростовской области для сельскохозяйственных предприятий площадью 2000, 5000 и 12000 га.

Для технико-экономического обоснования принята математическая модель, разработанная во ВНИПТИМЭСХ. Эта модель снабжена хорошо развитым банком данных, которые постоянно уточняются (особенно в части быстроизменяющихся цен и структуры технических средств), она снабжена современным программным обеспечением и динамична к объемам работ, севооборотам и технологиям производства сельскохозяйственных культур, т.е. в значительной степени адаптирована к производственным условиям использования технических средств.

В таблице 2 приведены общие средневзвешенные по площади пашни сельскохозяйственных предприятий показатели экономической эффективности.

Таблица 2 - Общие показатели экономической эффективности

Наименование показателей	Значение показателей
Экономия затрат живого труда, тыс. чел-ч.	2609,3
Экономия топлива, т	31690,1
Снижение металлоёмкости, т	57074,0
Годовой экономический эффект, млн. руб.	3661,5

При этом экономия затрат живого труда, экономия топлива и снижение метал-

лоёмкости парка машин определены по разности этих показателей по базовому и новому паркам машин.

Таким образом, проведенные исследования и полученные результаты обеспечивают применительно к условиям Ростовской области экономию живого труда в размере 2,6 млн. чел.-час. При этом общая металлоёмкость парка машин снижается на 57 тыс.т, а экономия топлива составляет 31,7 тыс.т. Суммарный годовой экономический эффект составляет 3,7 млрд. рублей.

### **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ**

В результате исследований установлено следующее:

1. Разработаны принципы формирования параметрического ряда МЭС, в основу которых положено обеспечение минимума недоиспользованной мощности и экономически оптимального перекрытия между смежными типоразмерами ряда, что обеспечивается переменным знаменателем прогрессии ряда, который изменяется по определённому закону вместе с ростом порядкового номера типоразмеров. Такой ряд обеспечивает преемственность развития и включает семь тяговых классов 0,4; 0,7; 1,1; 1,8; 3,0; 5,0; 7,0.

2. Разработана математическая модель в виде уравнений второго порядка, связывающая важнейшие факторы (объёмы работ, структура технических средств), воздействующие на агрегаты, с технико-экономическими показателями их работы. В основу математической модели положены принципы теории планирования экспериментов. Так как экстремальным значениям модели соответствуют оптимальные значения факторов, то на основании этой модели можно выработать рекомендации по оснащению с.-х. предприятий техникой, т. е. установить структуру МТП.

3. Разработана инженерная база для определения тягово-энергетических показателей МЭС с различными типами трансмиссий, учитывающая характер протекания процессов с введением аппроксимаций, соответствующих каждому режиму нагрузки. Алгоритм для определения тягово-энергетических показателей обеспечивает получение результатов с достаточной точностью (относительная ошибка не превышает 3-4 %).

4. Методические положения определения тягово-энергетических показателей трактора с бесступенчатой трансмиссией позволяют установить эти показатели и определить параметры гидромашин, входящих в эту трансмиссию для её предварительного расчёта.

5. В основу методики определения параметров (передаточных чисел) трансмиссии положен принцип использования потенциальных возможностей энергетических средств, что даёт возможность определить параметры трансмиссии в зоне наибольших значений тягового КПД и не допустить снижения загрузки двигателя ниже допустимых значений при переключениях передач.

6. Основным источником колебаний МТА при работе их на характерных фонах (стерня, поле подготовленное под посев, вспаханное поле, полевая дорога и др.) являются неровности профиля поверхности поля. Рассматривая принципы взаимодействия различных типов движителей с профилем поверхности поля установлено, что гусеничный движитель имеет существенные преимущества по сравнению с колёсным движителем, так как он фильтрует (сглаживает) в 2,1-2,8 раза больше неровностей, что улучшает условия труда, плавность хода, качество выполняемых операций и другие показатели МТА.

7. Для корректного определения производительности МТА необходимо учи-



тивать вероятностный характер изменения тягового сопротивления агрегата, и тогда по функции распределения можно определить долю работы агрегата в каждом режиме работы, и, следовательно, установить среднюю скорость движения и производительность МТА, что значительно повышает точность расчётов при оценке эффективности функционирования агрегатов.

8. Рассматривая механизмы адаптации сельскохозяйственных МТА к условиям функционирования на примере сеялочного агрегата, установлено, что движители сельскохозяйственных МТА оказывают влияние на почву, что приводит к снижению эффективности их работы, так как увеличивается плотность почвы, в связи с этим снижается урожайность сельскохозяйственных культур, повышается тяговое сопротивление почв, повышается расход топлива, нарушается агротехника выполняемых работ. В свою очередь профиль поверхности поля оказывает влияние на работу МТА, поэтому для оценки этого влияния были получены обобщённые параметры корреляционных функций и соответствующие им спектральные плотности, которые изменяются только от характеристики рассматриваемых фонов и скорости движения. Следовательно, их можно использовать для определения параметров любых сельскохозяйственных агрегатов, работающих на этих фонах.

Но независимо от агрофона высеваящая система должна обеспечивать точное распределение семян в рядах на заданную глубину. В наибольшей степени требованиям агротехники отвечают высевальные аппараты вибродискретного типа и катущечные винтовые аппараты с косым зубом.

9. Линией наиболее быстрого спуска потока семян из высевального аппарата до сошника является дуга циклоиды, следовательно, семяпровод сеялки должен иметь форму циклоиды, но радиус образующей окружности циклоиды должен быть выбран таким образом, чтобы арка циклоиды прошла через заданные точки. Форма семяпровода установлена методами вариационного исчисления. Разработана методика определения радиуса образующей окружности циклоиды, отвечающая указанным требованиям.

Радиус образующей окружности сеялки типа СЗ-3,6, оснащённой многоручьевым высевальным аппаратом вибродискретного типа, изменяющийся в пределах 0,317-0,796 м.

10. Принципы адаптации сошниковой группы посевных машин и оптимизация её параметров основаны на сравнении экспериментальной АЧХ, которая связана с параметрами эксперимента (нормированные спектральные плотности, дисперсии), с АЧХ, полученной в результате анализа условий движения динамической системы, которая в свою очередь связана с параметрами этой динамической системы. Особенность применяемого в этом случае метода идентификации состоит в том, что выходная АЧХ получена из случайных функций, смоделированных с учётом требований агротехники, что позволяет наиболее корректно определить параметры системы. При этом коэффициент апериодичности должен быть не менее 0,5-0,7.

11. Повышение эффективности функционирования сельскохозяйственных МТА во многом определяется надёжностью их работы. Увеличить надёжность машин можно за счёт снижения сил трения, что достигается путём ультразвукового воздействия на смазывающие материалы. При этом коэффициент трения уменьшается на 19 %, температура в зоне трения снижается на 16 % и увеличивается стабильность показателей работающих масел.

12. С точки зрения выполнения технологического процесса обработки почвы, наиболее важную роль выполняют рабочие органы машины, так как именно они



обеспечивают все показатели её назначения. При этом анализ затрат энергии в технологических процессах сельскохозяйственного назначения показывает, что полезная часть процесса требует значительно меньших затрат, чем процесс в целом.

Обязательной особенностью почвообрабатывающих машин является то, что их рабочие органы должны быть вынесены в зону взаимодействия с перерабатываемой средой, т.е. с почвой. Этот вынос осуществляется стойкой, часть которой тоже взаимодействует с почвой. Это взаимодействие требует дополнительных затрат энергии (до 40%) и никак не влияет на выполнение технологического процесса обработки почвы. Следовательно, за счёт оптимизации параметров стойки можно снизить энергоёмкость процесса обработки почвы.

Установлено, что оптимальной формой поперечного сечения стойки является плоскость, ограниченная кривой эллипса, одна из вершин которого должна оканчиваться острым углом, величиной не более 50-ти градусов. Такая форма обеспечивает получение минимального значения абсолютной скорости отбрасываемой почвы, а, следовательно, небольшие энергетические затраты на её перемещение. Но может быть наиболее важным является то, что незначительное смещение почвы способствует выполнению требований агротехники по влагосбережению, распылению почвы, сохранению стерни (при работе на стерновом фоне) и др.

Разработанная методика позволяет определить основные параметры стойки (длину осей эллипса, уравнение касательной и её длину, угол резания и др.), что способствует снижению энергоёмкости и повышению качества обработки почвы.

13. Разработана методология, основные элементы которой нашли отражение в структурной модели обоснования эффективности функционирования сельскохозяйственных МТА, которая учитывает множество входных факторов, воздействующих на агрегат, и предлагает совокупность методов решения проблемы.

Проведенные исследования показывают, что применительно к условиям Ростовской области обеспечивается экономия живого труда в размере 2,6 млн. чел.-час, металлоёмкость парка машин снижается на 57 тыс. т, а экономия топлива равна 31,7 тыс. т. Суммарный годовой экономический эффект составляет 3,7 млрд. рублей.

#### ***Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:***

##### ***Монография***

1. Камбулов С.И. Механико-технологические основы повышения уровня функционирования сельскохозяйственных агрегатов / С.И. Камбулов. – Ростов-на-Дону: «Терра-Принт», 2006.- 304 с.

##### ***Статьи в журналах и сборниках трудов из перечня ВАК***

2. Камбулов С.И. Физика процесса ультразвуковой обработки масел /С.И. Камбулов, Н.П.Бутов, И.Э.Липкович // Техника в сельском хозяйстве.- №6.- 2002.- С.34-35.

3. Камбулов С. И. Влияние вероятностных условий на показатели посевного агрегата / С.И. Камбулов //Механизация и электрификация сельского хозяйства. – № 4.-2004. – С. 27-29.

4. Камбулов С. И. Обоснование параметрических рядов энергетических средств сельскохозяйственного назначения /С.И. Камбулов // Вестник ФГОУ МГАУ. – М., 2007.- Выпуск 3/1(23).- С.49-52.

5. Камбулов С. И. Обоснование параметров сошниковой группы сеялки /С.И. Камбулов // Механизация и электрификация сельского хозяйства.- № 11.- 2007.- С.33-34.

6. Камбулов С.И. Влияние объемов работ и структуры МТП на показатели эффективности МТА / С.И.Камбулов // Тракторы и сельскохозяйственные машины.- №12.- 2007.- С. 49-50.

7. Камбулов С.И. Стабилизация технологического процесса заделки семян по глубине сошниковыми группами сеялок / С.И.Камбулов, В.И. Пахомов // Вестник ФГОУ МГАУ имени В.П.Горячкина.- М., 2007. – Выпуск 3/2 (23).- С. 60-63.

8. Камбулов С.И. Принципы формирования структуры машинно-тракторного парка сельскохозяйственных предприятий / С.И. Камбулов // Вестник ФГОУ МГАУ имени В.П.Горячкина. - М., 2007.- Выпуск 3/2 (23).- С.85-87.

9. Камбулов С.И. Принципы адаптации сельскохозяйственных МТА к условиям функционирования /С.И. Камбулов // Труды КубГАУ.- Краснодар, 2007.- Выпуск № 4(8). - С. 178-179.

10. Камбулов С.И. Методологические основы повышения эффективности функционирования МТА / С.И. Камбулов // Труды КубГАУ. – Краснодар, 2007. - Выпуск № 5(9).- С. 58-61.

11. Камбулов С.И. Основы формирования структуры МТА сельхозпредприятий / С.И. Камбулов // Труды КубГАУ – Краснодар, 2007. - Выпуск № 5(9).- С.184-186.

12. Камбулов С.И. Снижение энергоёмкости процесса почвообработки / С.И. Камбулов // Механизация и электрификация сельского хозяйства.- №1.- 2008.- С.32-34.

13. Камбулов С.И. Обоснование структуры МЭС сельскохозяйственного назначения /С.И. Камбулов //Тракторы и сельскохозяйственные машины.- №3.- 2008.- С.52-53.

14. Камбулов С.И. Определение параметров семяпроводов сеялки / С.И. Камбулов //Механизация и электрификация сельского хозяйства - №3.- 2008. – С. 6-7.

*Статьи в сборниках научных трудов и материалах научных конференций*

15. Камбулов С. И. Результаты эксплуатационных испытаний восстановленных моторных масел в тракторных дизелях / С.И.Камбулов // Механизация и электрификация производственных процессов в полеводстве: Сб. науч. тр. / ВНИПТИ-МЭСХ.- Зерноград, 1995. - С. 156-161.

16. Камбулов С.И. Результаты экспериментальных исследований новых технических средств для очистки масел / С.И. Камбулов, Н.П.Бутов, С.В. Ковальков // Результаты исследований и производственной проверки малозатратных технологий и технических средств для возделывания зерновых культур в условиях засушливого земледелия: Сб. науч. тр. / ВНИПТИМЭСХ.- Зерноград, 1999.- С. 254-257.

17. Учебное пособие для решения задач по теоретической механике / С.И. Камбулов. – Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2001. - 24 с.

18. Камбулов С.И. Исследование эффективности работы гидродинамического коагулятора при центробежной очистке автотракторных масел / С.И. Камбулов, С.В. Ковальков // Исследование и реализация новых технологий и технических средств в с.-х. производстве: Сб. науч. тр. / ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград, 2001. - С.279-282.

19. Камбулов С.И. Результаты исследований процессов очистки и гидротации подсолнечного масла /С.И. Камбулов, С.В. Ковальков, Т.Н. Иштоян // Исследования и реализация новых технологий и технических средств в сельскохозяйственном производстве: Сб. науч. тр. / ВНИПТИМЭСХ.- Зерноград, 2001. – С. 282-287.

20. Камбулов С. И. Особенности методики определения тяговых показателей трактора /С.И. Камбулов, И.А. Камбулов // Технология, техника засушливого земле-

деля: исследования, испытания, освоение в производстве: Сб. науч. тр. / ВНИПТИ-МЭСХ. – Зерноград, 2003. – С. 39-44.

21. Камбулов С. И. Исследование повышения качества посевного агрегата при частотном анализе скорости его движения / С.И. Камбулов, М.А.Камбулова // Материалы 2-й Международной научно-практической конференции "Земледельческая механика в растениеводстве".- Труды ВИМ.– М., 2003.- Том 147.- С. 212.

22. Камбулов С.И. Тяговые показатели трактора с гидрообъемной трансмиссией /С.И. Камбулов, И.А. Камбулов // Ресурсосберегающие и экологически сбалансированные технологии и технические средства в растениеводстве: Сб. науч. тр. / ВНИПТИМЭСХ.- Зерноград, 2005.- С. 66-71.

23. Камбулов С.И. Результаты испытаний зерновой сеялки с высевальными аппаратами вибродискретного действия /С.И. Камбулов, Н.М. Беспамятнова, Е.И. Хлыстов, П.И. Сидяченко, В.В. Угорчук // Ресурсосберегающие и экологически сбалансированные технологии и технические средства в растениеводстве: Сб. науч. тр. / ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград, 2005. – С. 111-118.

24. Камбулов С.И. Оптимизация параметров семяпроводов высевальной системы сеялки / С.И. Камбулов // Разработка новых южно-российских технологий и технической базы для возделывания зерновых в зоне засушливого земледелия: Сб. науч. тр. / ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград, 2005. – С.55-60.

25. Камбулов С.И. Обоснование параметров стойки рабочих органов почвообрабатывающих машин / С.И. Камбулов, В.Б. Рыков // Разработка новых южно-российских технологий и технической базы для возделывания зерновых в зоне засушливого земледелия: Сб. науч. тр. / ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград, 2005. – С. 39-48

26. Камбулов С.И. Оптимизация параметров семяпроводов высевальной системы сеялки / С.И. Камбулов //Достижения науки и техники АПК.- № 9.- 2006.- С. 30-32.

27. Камбулов С.И. Методика оценки ходовых систем МЭС / С.И. Камбулов // Исследования и разработка современных технологий и средств механизации в полеводстве юга России: Сб. науч. научн. тр. / ВНИПТИМЭСХ.- Зерноград, 2007.- С. 3-8.

28. Камбулов С.И. Оптимизация параметров трансмиссии / С.И. Камбулов // Исследования и разработка современных технологий и средств механизации в полеводстве юга России: Сб. науч. тр. / ВНИПТИМЭСХ.- Зерноград, 2007.- С. 8-15.

29. Камбулов С.И. Повышение эффективности МТА за счёт снижения потерь на трение в механизмах / С.И. Камбулов // Исследования и разработка современных технологий и средств механизации в полеводстве юга России: Сб. науч. тр. / ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград, 2007. – С. 15-19.

30. Камбулов С.И. Характеристика опорной поверхности типовых фонов работы МТА / С.И. Камбулов // Исследования и разработка современных технологий и средств механизации в полеводстве юга России: Сб. науч. тр. / ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград, 2007. – С. 19-24.

31. Камбулов С.И. Влияние схемы МТА на показатели эффективности / С.И.Камбулов // Исследования и разработка современных технологий и средств механизации в полеводстве юга России: Сб. науч. тр. /ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград, 2007. – С. 24-29.

32. Камбулов С.И. Влияние производственных условий и структуры МТП на показатели использования агрегатов / С.И. Камбулов // Труды ГОСНИТИ. – М., 2006. – Т.100.- С. 92-95.

33. Стабилизация процесса заделки семян по глубине сошниковыми группами

сеялок / Камбулов С.И., Пахомов В.И. // Электронный «Агрожурнал» (<http://agromgazine.msau.ru>) идентификац. номер 0420700044\0039. - №7.- 2007 г.

34. Принципы формирования структуры МТП сельскохозяйственных предприятий / Камбулов С.И. // Электронный «Агрожурнал» (<http://agromgazine.msau.ru>) идентификац. номер 0420700044\0035. - №7.- 2007 г.

35. С1 2320108 RU МПК А01В 49/02. Комбинированный почвообрабатывающий агрегат / Камбулов С.И., Таранин В.И., Коптев А.В. – Всероссийский НИПТИ механизации и электрификации сельского хозяйства.- №2006133804/12; Заявл. 21.09.2006 // Изобретения (заявки патенты).- 2008.- №9.

36. Камбулов С.И. Влияние технологии основной обработки почвы на урожайность озимой пшеницы / В.Б. Рыков, С.И. Камбулов // Состояние и перспективы развития с.-х. машиностроения: Материалы международной научно-практической конференции: Сб. науч. тр. / РГАСХМ, ДГТУ. – Ростов н/Д, 2008. - С. 139-142.